

文章编号 1005-0388(2005)03-0363-04

# T 形天线的研究

邹艳林 刘其中 纪奕才

(西安电子科技大学 天线与微波技术国家重点实验室, ylzhou@mail.xidian.edu.cn, 陕西 西安 710071)

**摘要** 系统地研究位于山谷间 T 形天线的电特性。采用矩量法求解天线和地面上的静电荷分布密度及电流分布密度, 进而计算了 T 形天线与地面之间的静电容和天线的输入电抗, 数值结果与实验结果吻合良好。同时研究了引线及顶线的各项参数变化对天线的有效高度、增益、输入电抗、辐射电阻及静电容的影响。研究表明, 增加引线数目、引线间距和加长顶线长度均可以增加天线系统的静电容, 减小输入电抗的模值, 并使天线的增益有所改善。

**关键词** 山谷, T 形天线, 矩量法, 静电容, 有效高度

**中图分类号** TN820      **文献标识码** A

## Characteristics simulation of T antennas located in a valley

ZOU Yan-lin LIU Qi-zhong JI Yi-cai

(National Laboratory of Antennas and Microwave Technology, Xidian Univ.,  
ylzhou@mail.xidian.edu.cn, Xi'an Shaanxi 710071, China)

**Abstract** The characteristics of the T antennas located in a valley are investigated in this paper. The static charge and current distributions on the antenna and the ground is calculated respectively with the method of moments, then the static capacitance between the antenna and the ground and the input reactance are determined, which are in good agreement with the experimental results. The affection of parameter variation of down lead wires and top loading wires on effective height, radiation pattern, input reactance, radiation resistor and static capacitance is discussed. It is hold that one can increase static capacitance, reduce mode of input reactance and enhance the antenna gain by increasing down lead wires, their distances or lengthening the top loading wires.

**Key words** valley, T antenna, method of moments, static capacitance, effective height

## 1 引言

在长、中波波段, T 形天线是一种常见的天线形式。这类天线常常架设在山谷间, 顶线经由拉线接在山谷的两壁上, 引线接在谷底上。由于尺寸较大, 其架设, 测量和调整工作相当困难, 因此事先对天线进行合理的设计是十分重要的。这类天线的主要问

题是: 效率低、工作频带窄和易产生过压现象等。解决上述问题的主要方法是增加辐射电阻、减少输入电抗和损耗电阻<sup>[1][2]</sup>。同时, 为了降低天线高度便于架设, 需要增大天线与导电地面之间的静电容来降低天线的谐振频率。因此, 如何增加辐射电阻、减小输入电抗、降低损耗电阻以及增加天线与地面之间的静电容是这类天线设计的关键。

采用矩量法<sup>[3]</sup>来分析 T 形天线的电特性, 分别求解了天线的辐射电阻、输入电抗、静电容和辐射方向图特性。在充分验证算法的有效性后, 利用该方法对引线数目、引线间距、顶线长度以及馈电点位置的变化对天线的各主要电参数的影响进行了分析研究。提出了在实际条件允许的情况下, 通过加长顶线长度、增加引线数目和间距以及适当调整馈电点位置的方法来改善天线的主要电特性。

## 2 天线电特性的求解

T 形天线的结构如图 1 所示, 天线由引线和顶线组成, 顶线经由拉线拉在山谷的两壁之间, 引线通过阻抗变换器接到发射机上。当有多根引线时, 每根引线对应的顶线近乎平行地架设, 为减小拉线的影响, 使用绝缘子将天线与拉线断开。由于天线是架设在一个地形复杂的山谷中, 为了减小地面损耗, 在山谷两侧和谷底铺设金属网。在引线的下方区域金属网较为密集, 在两侧的山坡上相对稀疏一些。为便于建模, 将顶线近似为由几段折线连接而成, 将谷底近似为平面金属网处理, 两侧山体近似为锥面金属网处理, 由于天线工作波长很长, 这样的近似处理对天线的电性能影响不大。

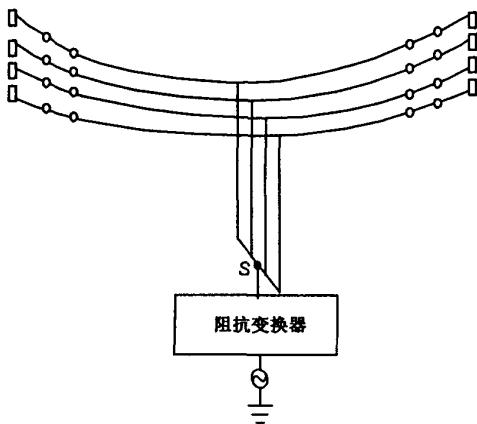


图 1 T 形天线结构示意图

### 2.1 矩量法求解山谷间天线满足的电场积分方程

根据金属地网的实际结构采用相互连接的导体线段来模拟这种有限的复杂地面。这样, 在计算模型中, 整个天线系统都由细导线构成, 可采用矩量法求解天线及地网上的电流满足的电场积分方程<sup>[4]</sup>。采用矩量法进行求解时, 首先将整个天线系统分成若干段, 然后选用合适的基函数, 并将线上电流  $I(l)$  展开成这些基函数的叠加。采用的展开函数为正弦

万方数据

### 插值基函数

$$I_i(s) = A_i + B_i \sin k_0(s - s_i) +$$

$$C_i \cos k_0(s - s_i), |s - s_i| \leq \Delta_i/2 \quad (1)$$

式中的  $s_i$  为第  $i$  段的中心位置,  $\Delta_i$  为第  $i$  段的长度。3 个待定参数  $A_i, B_i, C_i$  中的两个参数可通过线段两端的电流和电荷连续性条件确定, 另外一个参数通过矩量法求解。这种基函数对线结构特别是长线结构具有较快的收敛性<sup>[5]</sup>。

将上述电流展开并代入电场积分方程中, 采用点选配的方法进行检验, 就得到一个矩阵方程, 求解该矩阵方程可得到各线段上的电流展开系数, 这样就可以求出天线上的电流分布进而求得天线的输入阻抗以及辐射特性<sup>[6]</sup>。

### 2.2 天线有效高度的计算

利用上面求出的天线上的分布电流和电场方向图特性, 可以求出天线归于输入电流的有效高度

$$h_e = \frac{2}{k} \frac{I_M}{I} f_M \quad (2)$$

式中,  $f_M$  为电场方向图  $f(\theta, \phi)$  的最大值,  $I_M$  为天线上分布电流波幅值,  $I$  为归算电流, 即输入电流。

### 2.3 矩量法求解天线与地面之间的静电容

在导体上电位已知的情况下, 求电容的关键是求解天线上的电荷分布密度。要求解的天线系统由线段组成, 所以其上的电荷分布密度满足方程

$$\Phi(r) = \int_l [\rho_t(r') / (4\pi\epsilon_0 |r - r'|)] dl' \quad (3)$$

采用脉冲基点选配求解上面的方程, 便得到如下矩阵方程

$$\begin{bmatrix} [l^a] & [l^b] \\ [l^a] & [l^b] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [a_n^t] \\ [a_n^b] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [\Phi_1] \\ [\Phi_2] \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中上标  $t$  表示天线部分线元,  $b$  表示地网部分线元。求解该矩阵方程可以得到天线及地网上的静电荷分布, 进而求得天线与地面之间静电容<sup>[7]</sup>。

## 3 计算结果和实验结果的比较与讨论

分析计算的 T 形天线缩比模型的引线长度为 2.809m。为了检验算法的正确性, 首先计算了 9 根引线、顶线长度为 19.6m 时, 天线与地面之间的静态电容以及天线的输入电抗, 并与实验值进行了比较。其中, 静电容计算值为 385.720pF, 实验值为 392.200pF, 输入电抗的计算值和实验值如图 2 所示。可以看出, 矩量法计算值和实验值吻合良好, 充分说明了该方法的正确性和有效性。

当天线的引线及顶线的各种参数改变时, 均会

对天线的各种电性能产生影响。为了达到合理设计的目的,需要对这种影响进行一定的研究。下面使用上述计算方法研究了当引线数目、顶线长度、引线间距及引线输入点的电流值分布改变时,天线主要电性能参数的变化情况。

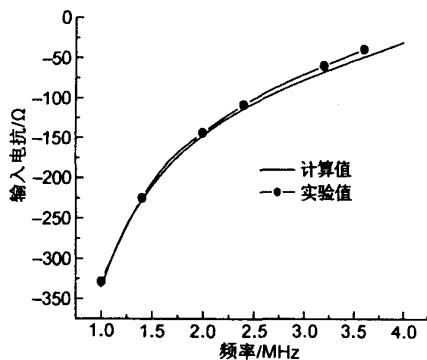


图2 9根引线时的输入电抗

表1给出了不同引线数目和顶线长度时该天线的静电容值。从表1可以看出,当引线数目增多时,天线的静电容明显增加,引线数目为9的天线的静电容值是引线数目为1的天线的4.6倍。当顶线加长时,静电容值随之变大。

表1 不同引线数目和顶线长度时天线的静电容

天线参数		静电容计算值 (pF)
引线数目	顶线长(m)	
1	19.60	83.668
2	19.60	136.082
4	19.60	221.290
4	20.60	229.904
6	19.60	294.925
6	20.60	306.299
9	19.60	385.720

图3给出了引线数目改变时输入电抗的变化曲线。从图3中可以看出增加引线数目可以使天线输入电抗的模值变小,这样便于天线的阻抗匹配。

当引线数目和顶线长度改变时,也会对天线的有效高度及辐射方向图特性产生影响。表2给出了不同引线数目和顶线长度时天线归于输入电流的有效高度的频率特性。从表2可以看出,在工作频带内,天线的有效高度随着频率的升高和顶线的加长而增加。但对于相同的顶线长度和同一频率而言,当引线数目增加时,天线的有效高度反而略微降低了,这与天线的工作频段有关<sup>[8]</sup>。

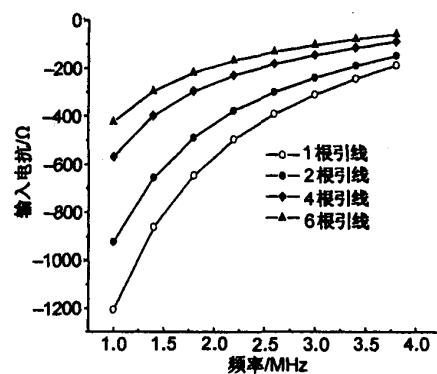


图3 引线数目不同的输入阻抗

表2 天线的有效高度

引线数目 / 顶线长	有效高度(m)		
	1.0MHz	2.6MHz	3.8MHz
1 / (19.60m)	1.884	1.940	2.042
2 / (19.60m)	1.843	1.913	2.020
4 / (19.60m)	1.720	1.789	1.893
4 / (20.60m)	1.729	1.800	1.907
6 / (19.60m)	1.634	1.700	1.800
6 / (20.60m)	1.642	1.711	1.812
9 / (19.60m)	1.587	1.656	1.766

图4给出了2.2MHz时天线竖直面内的垂直极化增益方向图。从图中可以看出,在竖直面内,6根引线时的最大增益比2根引线的最大增益提高了0.87dB,且最大辐射方向更接近于水平方向,可见引线数目增加后天线的辐射性能提高了。

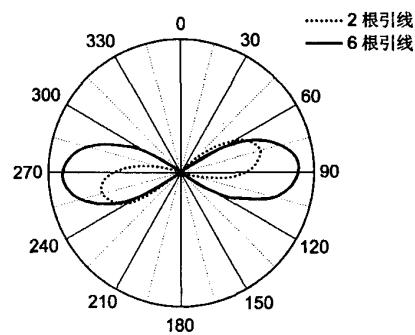


图4 2.2MHz时天线竖直面内的增益方向图

当引线数目一定时,若引线间距较小,临近效应明显地减小了每根导线给出的电容。例如在2.2MHz时,对于引线数目为2,顶线长度为19.60m的天线,当引线间距为2.6m时比引线间距为0.325m

时的静电容增加 46.819pF。同时,输入电抗的模值减小了 106.11Ω,增益提高 0.53dB,但有效高度降低了 0.171m,辐射电阻降低了 0.042Ω。此时,若在实际条件允许的范围内适当增大引线的间距,则天线的静电容及增益都会得到提高,且输入电抗的模值显著减小,但有效高度及辐射电阻略有下降。

当改变 S 点(如图 1 所示)的位置时,各引线输入点的电流值分布也相应改变。在 3.8MHz,如图 5 所示,当下引线输入点的电流由电流分布 1 变为电流分布 2 时,天线的辐射电阻增加了 12.79%,但方向系数下降了 0.42dB,静电容及有效高度的变化不明显。可见,若电流值分布越对称、越均匀,则辐射电阻越大,但方向系数有所下降。实际应用中,可根据最大容许功率及增益要求综合考虑。

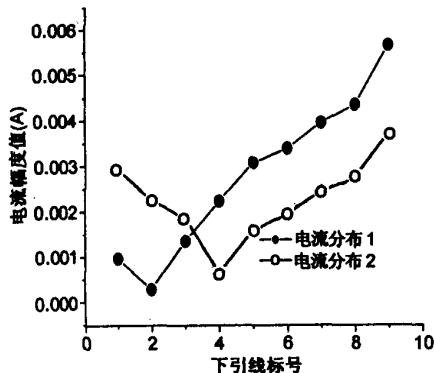


图 5 3.8MHz 时引线输入点的电流幅度值

## 4 结论

本文采用矩量法对架设在山谷间的 T 形天线进行了系统的研究,计算了天线的静电容、有效高度、输入电抗、辐射电阻和增益等电参数,计算结果与实验测试结果吻合良好,充分说明了文中建模及计算方法的正确性和实用性。在此基础上,研究了天线引线及顶线参数的变化对天线性能的影响。

数值模拟结果显示:当增加引线数目和加长顶线长度时,可以增大天线与接地面之间的静电容,有效改善天线的谐振频率特性、阻抗匹配特性和辐射特性;当引线数目一定时,增大引线的间距,则天线的静电容及增益都会得到明显的提高,且输入电抗的模值减小,但有效高度及辐射电阻略有下降。此外,提高下引线输入点的电流值分布的对称性和均匀性,可提高天线的辐射电阻,但方向系数有所下降。在具体的工程应用中,应根据实际的地形状况及各项指标要求,综合考虑上述因素。

万方数据

## 参考文献

- [1] 周朝栋,王元坤,周良明.线天线理论与工程[M].西安:西安电子科技大学出版社,1988.
- [2] 徐坤生,蒋忠涌.天线与电波传播[M].北京:中国铁道出版社,1987.
- [3] Harrington R F. Field Computation by Moment Method [M]. New York: Macmillan, 1968.
- [4] Paknys R. The near field of a wire grid mode [J]. IEEE Trans. on AP, 1991, 39(7): 994~999.
- [5] Burke G J. Numerical Electromagnetics Code-NEC-4, Method of Moments Part I[R]. CA: Rep UCRL-MA-109338, Lawrence Livermore National Laboratory, 1992.
- [6] 褚国桢.中波天线输入阻抗计算机分析[J].电波科学学报,2002,17(2):197~203.
- [7] G Z Chu. Analysis of input impedance of medium wave antenna with computer[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2002, 17(2): 197~203.
- [8] Kuo J T, Su K Y. Analytical evaluation of the MOM matrix elements for the capacitance of a charged plate [J]. IEEE Trans. On MTT, 2002, 50(5): 1435~1436.
- [9] 纪奕才,贺秀莲,张晓刚,等.架设在凹形接地上倒 L 天线的研究[J].西安电子科技大学学报,2003,30(4): 506~509.



邹艳林 (1980—),女,湖北人,西安电子科技大学天线与电磁散射研究所博士研究生,主要研究方向为天线数值计算和宽带小型化天线等。



刘其中 (1938—),男,重庆人,1961 年毕业于成都电讯工程学院雷达系。现为西安电子科技大学天线与电磁散射研究所教授、博士生导师。在国内外刊物上发表论文 100 多篇,主要研究方向为天线数值计算与 CAD,宽带小型化天线和智能天线、电磁散射以及电磁兼容等。



纪奕才 (1974—),男,山东人,西安电子科技大学天线与电磁散射研究所博士研究生,主要研究方向为天线数值计算、短波超短波天线小型化宽带化和电磁兼容等。

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>